

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
21. März 2002 (21.03.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/23120 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01B 11/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/10416

(22) Internationales Anmeldedatum:  
10. September 2001 (10.09.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 45 535.2 13. September 2000 (13.09.2000) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: BONNET, Gerhard [DE/DE]; Cottbuser Weg  
16, 68309 Mannheim (DE).

(74) Anwalt: PIETRUK, Claus Peter; Heinrich-Lilien-  
fein-Weg 5, 76229 Karlsruhe (DE).

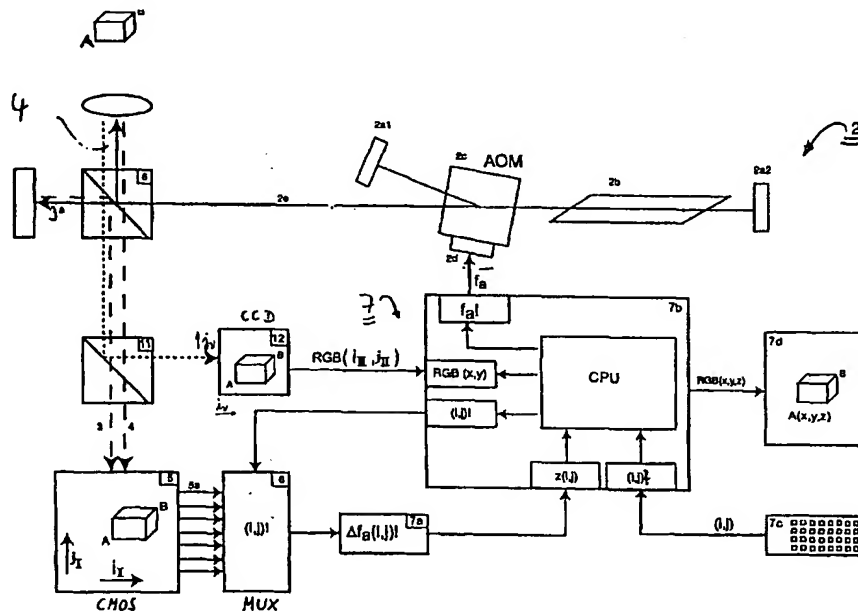
(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AB, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL DEVICE

(54) Bezeichnung: OPTISCHE VORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for detecting objects. To this end, temporally variable reference light beams and object light beams are generated. The beams are superimposed at a light receiver and detected beam-by-beam, and the penetration of the object by selected beams is determined in response to the temporal variability of the superimposed beams.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/23120 A2



**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Objekterfassung. Hierbei ist vorgesehen, dass zeitlich variable Referenz- und Objektlichtstrahlbündel erzeugt werden, die Bündel an einem Lichtempfänger überlagert und strahlenweise detektiert werden und die Objektiefe zur ausgewählten zu ausgewählten Strahlen im Ansprechen auf die zeitliche Variabilität der überlagerten Strahlen bestimmt wird.

## OPTISCHE VORRICHTUNG

### Beschreibung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung nach den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche. Damit befaßt sich die vorliegende Erfindung mit der Erfassung von dreidimensionalen Objekten, insbesondere der Bestimmung der räumlichen Tiefe eines ausgedehnten dreidimensionalen Objektes.

Es ist häufig wünschenswert, ein gegebenes Objekt dreidimensional abzutasten. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein kompliziertes Werkstück darauf untersucht werden soll, ob es maßgenau hergestellt wurde oder wenn ein gegebenes Objekt exakt zu vermessen ist.

Es ist im Regelfall zunächst ohne weiteres möglich, eine zweidimensionale Abbildung eines dreidimensionalen Objektes durch Projektion eines Objektbildes auf eine Sensorfläche oder dergleichen zu erzielen. Die Ausmessung in einer dritten Dimension, nämlich die Messung einer räumlichen Tiefe bereitet hingegen im Regelfall größere Probleme. Vorgeschlagen wurde beispielsweise, wie bei einem Echolot kurze Lichtimpulse auszusenden und die Zeit bis zum Empfang der rückgestreuten oder reflektierten Impulse zu messen. Eine Messung mit Licht ist hier auf Grund der extrem geringen Laufzeiten jedoch sehr schwierig, zudem lässt sich von räumlich ausgedehnten Objekten nur mit hohem Aufwand Raumtiefeinformation gewinnen.

Es sind auch schon seit langem interferometrische Verfahren bekannt, bei welchen ein Lichtstrahl in einen Referenzlichtstrahl und einen Objektlichtstrahl aufgespalten wird. Der Objektlichtstrahl wird auf ein Objekt eingestrahlt und von diesem rückempfungen. An einem Lichtempfänger werden dann die Referenz- und Objektlichtstrahlen überlagert und es wird dann, hinreichende Kohärenz beider Strahlen vorausgesetzt, aus der Phasenlage geschlossen, wie weit das Objekt entfernt ist. Dieses Vorgehen erlaubt je nach Anordnung hochpräzise Messungen; allerdings bereitet die Tiefenmessung bei ausgedehnten Objekten an verschiedenen Stellen Schwierigkeiten.

Es ist weiter bekannt, Entfernungsmessungen mit Frequenzhub-Rückkopplungslasern beziehungsweise frequenzverschobene Rückkopplungslaser (Frequency-Shifted-Feedback-Laser, FSF-Laser) vorzunehmen. Ein Beispiel hierfür findet sich in dem Aufsatz von K. NAKAMURA, T. MIYAHARA, M. YOSHIDA, T. HARA und H. ITO „A new technique of optical ranging by a frequency-shifted feedback laser“, IEEE Photonics Technology Letters, Band 10, 1998, Seiten 1772 ff. Das Prinzip von FSF-Lasern und die von diesen erhaltene Emission ist detailliert beschrieben in dem Aufsatz „Observation of a highly phase-correlated chirped frequency comb output from a frequency-shifted feedback laser“ von K. NAKAMURA, T. MIYAHARA und H. ITO, Applied Physics Letters, Band 72, Nr. 21, Seiten 2631 ff. sowie in dem Aufsatz „Spectral Characteristics of an All Solid-State Frequency-Shifted Feedback Laser“ von K. NAKAMURA, F. ABE, K. KASAHARA, T. HARA, M. SATO und H. ITO in IEEE-JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, Band 33, Seiten 103 ff.

30

Die Autoren der zu Offenbarungszwecken hierin vollumfänglich einbezogenen vorgenannten Dokumente schlagen vor, einen FSF-Laser zu verwenden, der in seinem optischen Resonator einen

akustooptischen Modulator aufweist, welcher mit etwa 80 MHz betrieben wird. Der Strahl des FSF-Lasers wird an einem Strahlteiler in einen Referenzstrahl und einen Meßstrahl aufgespalten. Der Meßstrahl durchläuft eine als Objekt dienende  
5 Glasfaser mit dem Referenzstrahl und wird an einem weiteren Strahlteiler wieder zusammengeführt und auf ein einzelnes Detektorelement eingestrahlt, dessen Ausgang mit einem Hochfrequenz-Spektral-Analysator untersucht wird.

10 Ein Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, ausgedehnte Objekte zu erfassen und hinsichtlich ihrer räumlichen Tiefe ausmessbar zu machen.

Die unabhängigen Ansprüche geben an, wie dieses Ziel erreicht  
15 werden kann. Bevorzugte Ausführungsformen finden sich in den Unteransprüchen.

Ein grundlegender Gedanke der Erfindung besteht somit darin, dass zur Objekterfassung zeitlich variable Referenz- und Objektlichtstrahlbündel erzeugt werden, die Bündel an einem  
20 Lichtempfänger überlagert und strahlenweise detektiert werden und die Objekttiefe zu ausgewählten Strahlen im Ansprechen auf die zeitliche Variabilität der überlagerten Strahlen bestimmt wird.

25 Wesentlich ist hierbei zunächst, dass ausgedehnte Lichtbündel erzeugt und an einem Lichtempfänger überlagert werden, aber Einzelstrahlen innerhalb der Bündel detektiert werden, um die Objekttiefe an diesen ausgewählten Strahlen zu bestimmen. Da-  
30 mit wird es ohne weiteres möglich, bei ausgedehnten Objekten durch die Auswahl unter Verwendung zeitlich variabler Referenz- und Objektlichtstrahlen orts aufgelöste Messungen vorzunehmen.

In einer bevorzugten Variante besitzen die Lichtbündel eine kammartige Frequenzstruktur, wobei der Kamm durchgestimmt wird, das heißt alle Frequenzen des Lichtbündels simultan  
5 verändert werden. Dies läßt sich insbesondere mit FSF-Lasern erreichen.

In einer besonders bevorzugten Variante des Verfahrens werden sukzessiv unterschiedliche Modulator- bzw. Durchstimmfrequenzen  
10 zen verwendet. Die typische, sich periodisch wiederholende zeitliche Variabilität von Referenz- und Objektlichtstrahlbündeln führt dazu, dass die Zuordnung zwischen Objektiefe und zeitlicher Variabilität nicht eindeutig ist. Die Verwendung mehrerer Modulatorfrequenzen ermöglicht es dann, diese  
15 Nichteindeutigkeit bei einer einzelnen Frequenz aufzulösen.

Das Erzeugen der Referenz- und Objektlichtbündel kann in einem Laserresonator erfolgen, in welchem ein verstärkendes Medium angeordnet wird. Die Durchstimmung erfolgt dabei bevorzugt  
20 mit einem hochfrequent erregten akustooptischen Modulator.

In einer besonders bevorzugten Variante des Verfahrens werden die Lichtbündel strahlenweise analysiert, indem ein lichtempfindlicher Empfänger aus einer Vielzahl von Detektionselementen  
25 vorgesehen wird, wobei die zu untersuchenden Strahlen durch Anwahl bzw. Auswahl einzelner Strahlelemente bestimmt werden.

30 Das Verfahren sieht in einer besonders bevorzugten Variante vor, dass die Detektionselementeauswahl veränderbar ist. Eine Veränderung kann dabei insbesondere dadurch erfolgen, dass ein Bild des Objektes erzeugt wird, und zwar mit einem ande-

ren oder dem gleichen Lichtempfänger, wobei dann auf diesem Bild Punkte mit zu bestimmender Tiefe ausgewählt werden. Die diesen Stellen zugeordneten Detektionselemente können dafür bezüglich der zeitlichen Variabilität der überlagerten Strahlen, die auf sie treffen, untersucht werden.

Schutz wird auch begehrt für eine Vorrichtung, die zur Ausübung des Verfahrens geeignet ist. In einer besonders bevorzugten Variante der Vorrichtung ist als Bündelerzeugungsmittel ein FSF-Laser, das heißt ein Frequenzhub-Rückkopplungs-Laser vorgesehen, der in seinem Resonator neben einer Lichtverstärkereinheit, das heißt einem Lichtverstärkermedium, auch einen Modulator umfasst. Der Modulator wird bevorzugt mit Frequenzen zwischen 0,1 MHz und 500 MHz moduliert, wobei eine Modulation mit Radiofrequenzen um 100 MHz besonders vorteilhaft ist. Die niedrigeren Frequenzen verringern die mit der Vorrichtung erzielbare Auflösung, während sehr hohe Frequenzen die Anforderungen an das Meßsystem stark erhöhen.

Die Untersuchung der zeitlichen Variabilität der überlagerten Referenz- und Objektlichtbündel wird in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel vorgenommen, indem Signale von jenen Detektionselementen, die auszulesen sind, über einen Multiplexer an eine Auswerteeinheit geleitet werden.

Es kann in einer bevorzugten Variante ein bildgebender Sensor vorgesehen werden, wobei einerseits ein Bild des Objektes aufgenommen wird und andererseits die Tiefe bestimmter Bildpunkte erfasst wird. Es ist möglich, die Detektionselemente zur Objektiefenbestimmung von jenen Elementen eines bildgebenden Detektors zu trennen, um so eine Optimierung der jeweiligen Lichtempfänger einerseits für hohe räumliche Auflösung und andererseits für hohe Empfindlichkeit auf die zeit-

liche Variabilität zu ermöglichen. Überdies ist es bevorzugt, wenn der bildgebende Sensor und der objektiefenmessende Lichtempfänger unterschiedliche spektrale Empfindlichkeiten aufweisen und zwar insbesondere dergestalt, dass der bildgebende Sensor für die Wellenlängen beziehungsweise den Frequenzbereich des Lichtempfängers nicht oder nur marginal empfindlich ist. So ist die Bildaufnahme nicht oder fast nicht gestört durch die Objektiefenbestimmung.

Die Erfindung wird im folgenden nur beispielsweise anhand der Zeichnung beschrieben. In dieser zeigt:

Fig. 1 eine Anordnung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 Diagramme zur Veranschaulichung des Funktionsprinzips; nämlich

Fig. 2a Frequenzen des von einem Laserresonator emittierten Frequenzkammes zu drei verschiedenen Zeiten;

Fig. 2b das Emissionsverhalten über der Zeit;

Fig. 2c der Zusammenhang zwischen Schwebungsfrequenz und Laufzeitunterschied.

Fig. 2d der Zusammenhang zwischen Schwebungsfrequenz und Objektiefe für eine gegebene Durchstimmfrequenz.

Nach Fig. 1 umfasst eine allgemein mit 1 bezeichnete Objektiefenbestimmungsvorrichtung 1 ein Lichtbündelerzeugungsmittel 2 zur Erzeugung eines zeitlich variierenden Referenzlichtbündels 3 und eines Objektlichtbündels 4, einen Lichtempfänger 5, auf welchem Objekt- und Referenzlichtbündel 3, 4



überlagert werden, eine Auswahleinheit 6 zur Auswahl einzelner, auszuwertender Strahlen in den auf dem Lichtempfänger 5 überlagerten Lichtbündeln 3, 4, sowie eine Auswerteeinheit 7 zur Auswertung einer Objektiefe.

5

Das Lichtbündelerzeugungsmittel 2 umfaßt einen durch hochreflektierende Spiegel 2a1, 2a2 gebildeten optischen Resonator, in welchem ein Verstärkungsmedium 2b und ein akustooptischer Modulator 2c angeordnet sind. Der akustooptische Modulator 2c erhält Hochfrequenzenergie von einem Frequenzgenerator 2d in  
10 einem Bereich zwischen 0,1 MHz und 500 MHz, was zu einer zeitlichen Variabilität des ausgestrahlten Lichtes führt, wie später zu erläutern sein wird.

15 Im Ausgangslichtbündel 2e des Lichtbündelerzeugungsmittels 2 ist ein Strahlteiler 8 vorgesehen, der das Ausgangslichtbündel 2e in ein auf ein Objekt 10 gerichtetes Teilbündel und ein Referenzlichtbündel 3 aufteilt. Im Strahlengang des Referenzlichtbündels 3 ist ein Rückreflektor in festem Referenz-  
20 abstand angeordnet, der das Referenzlichtbündel 3 über den Strahlteiler 8 auf den Lichtempfänger 5 zurückwirft, während das zum Objekt 10 gerichtete Teilbündel von diesem zurückgeworfen wird und als Objektlichtbündel 4 den Strahlteiler 8 durchlaufend gleichfalls zum Lichtempfänger 5 gestrahlt wird,  
25 und zwar so, dass dort Objektlichtbündel 4 und Referenzlichtbündel 3 überlagert werden.

Der Lichtempfänger 5 ist als CMOS-Elementefeld aus einer Matrix von  $M \times N$  CMOS-Elementen  $(i, j)$  aufgebaut, die einzeln über  
30 ihre Indices  $j_1, i_1$  adressierbar sind. Von jedem Element  $(i, j)$  des CMOS-Feldes des Lichtempfängers 5 geht eine Leitung 5a zur Auswahleinheit 6, die als Multiplexer ausgebildet ist und Signale jeweils nur eines oder einer geringen Anzahl von

Detektionselementen auf eine Demodulationseinheit 7a schaltet. Die Demodulationseinheit ist dazu ausgebildet, die durch akustooptische Modulation mittels des akustooptischen Modulators 2c bedingte zeitliche Variabilität des Ausgangslichtbündels 2e in der Überlagerung von Referenzlichtbündel 3 und Objektlichtbündel 4 für die Einzelelemente zu analysieren und eine für die Schwebung derselben repräsentative Größe anzugeben.

10 Der Ausgang der Demodulationseinheit 7a wird an einen Eingang einer zentralen Datenverarbeitungseinheit 7b gespeist, die auch Eingabemittel 7c und Ausgabemittel 7d aufweist, und mit welcher insbesondere die am den akustooptischen Modulator 2c treibenden Frequenzgenerator 2d vorzuwählende Frequenz  $f_a$  be-  
15 stimmt werden kann sowie jene Matrixelemente  $i, j$  des CMOS Array des Lichtempfängers 5, deren Signal an die Demodulationseinheit 7a gespeist wird.

Im Strahlengang zwischen dem Strahlteiler 8 und dem Lichtempfänger 5 ist weiter ein teildurchlässiger Spiegel 11 vorgesehen, mit welchem Licht vom Objekt 10 auf einen hier beispielhaft als CCD-Matrix ausgebildeten bildgebenden Empfänger 12 reflektiert werden kann. Das Ausgangssignal aller Elemente ( $i_{II}, j_{II}$ ) des bildgebenden Empfängers 12 wird gleichfalls  
25 an die zentrale Datenverarbeitungseinheit gespeist. Dort ist eine Zuordnungseinheit vorgesehen, die jene CMOS-Elemente ( $i, j$ ) den CCD-Elementen zuordnet, welche dergleichen Objektbereich erfassen.

30 Zur Erläuterung der Funktionsweise der Anordnung wird zunächst Bezug genommen auf die Figuren 2a bis 2d, die das Emissionsverhalten des Lichtbündelerzeugungsmittels sowie die sich aus der zeitlichen Variabilität der Lichtbündel und de-

ren Überlagerung ergebenden Signale und deren Auswertung veranschaulichen.

Fig. 2a zeigt oben zunächst als geschwungene Kurve das Verstärkungsprofil des Verstärkungsmediums 2b. Eine Lichtverstärkung von in das Verstärkungsmedium einlaufenden Lichtwellen findet nur für jene Frequenzen statt, bei denen die Verstärkung größer als 1 ist, das heißt zwischen den Frequenzen  $\nu_A$  und  $\nu_B$ . Bei allen anderen Frequenzen wird das Licht wie üblich abgeschwächt. Der optische Resonator hat nun, ähnlich wie eine schwingende Saite bevorzugte Frequenzen, sogenannte Resonatormoden. Jene Resonatormoden, bei denen die Verstärkung des verstärkten Mediums größer als 1 ist, werden bevorzugt emittiert.

15

Wird nun der akustooptische Modulator erregt, entsteht durch die Materialschwingung ein Gitter unterschiedlich dichter Stellen; an diesem Gitter wird hindurch tretendes Licht gebeugt, wobei die Wechselwirkung der Lichtphotonen mit den Schwingungsmoden des akustooptischen Modulators charakterisierenden Phononen die Frequenz des an dem Dichtegitter gebeugten Lichtes um die Erregungsfrequenz des akustooptischen Modulators verschoben wird. Dies führt dazu, dass die Lasermoden sich mit der Zeit geringfügig verschieben. Dies ist vom 1. zum 2. und vom 2. zum 3. Bild für unterschiedliche Zeiten nur für eine einzelne Lasermode angedeutet, wo zu erkennen ist, dass sich die Frequenz einer Mode mit der Zeit ändert; dies gilt aber für alle Moden, die im Resonator anschwingen. Es versteht sich dabei, dass, je nachdem, wie weit oberhalb der Verstärkung 1 das Verstärkungsprofil verläuft, die Intensitäten der einzelnen anschwingenden Moden unterschiedlich sind und dass sich die Modenintensität mit der Frequenz ändert.

Fig. 2b zeigt den Verlauf der unterschiedlichen Moden des sich ergebenden Frequenzkammes mit der Zeit. Es ist zu erkennen, dass die Frequenzen sich mit der Zeit für alle Moden in gleicher Weise ändern, also dieselbe Steigung bei Auftrag gegen die Zeit besitzen.

Das Schaubild von Fig. 2b bedeutet nun, dass Licht, das zu unterschiedlichen Zeiten emittiert wird, unterschiedliche Frequenzen besitzen wird. Laufen nun an einem Ort Lichtstrahlen ein, die über unterschiedlich lange optische Wege eingestrahlt werden, also auch zu unterschiedlichen Zeiten aus dem Lichtbündelerzeugungsmittel 2 emittiert wurden, so muss eine Frequenzdifferenz zwischen beiden vorliegen. Diese Frequenzdifferenz ist in Fig. 2c für unterschiedliche Laufzeitdifferenzen und unterschiedliche Moden im Resonator dargestellt. Sie kann als Schwebungsfrequenz auf einem CMOS-Element detektiert werden.

Die Frequenzverschiebung zwischen Objekt- und Referenzlichtbündel ist dabei zunächst nur von der Laufzeitdifferenz abhängig, sofern eine entsprechende Linearität des akustooptischen Modulators vorausgesetzt wird und die akustooptische Modulationsfrequenz fix ist. Es ergibt sich für alle Moden die gleiche Abhängigkeit. (Die von einzelnen Moden stammenden Schwebungsanteile addieren sich demnach.)

Die Frequenzverschiebung ist weiter abhängig davon, mit welcher Frequenz der akustooptische Modulator angeregt wird. Wird die Anregungsfrequenz des akustooptischen Modulators verändert, so ändert sich die Steigung der Kurve und der Abstand der einzelnen „Zähne“, das heißt jener Stufen, bei de-

nen eine gegebene optische Weglängendifferenz wieder zu einer Frequenzverschiebung Null führt.

Vor diesem Hintergrund wird die Anordnung von Fig. 1 benutzt  
5 wie folgt:

Zunächst wird ein Objekt 10 so im Sichtfeld des abgeteilten Teils des Ausgangslichtbündels 2e angeordnet, dass es beleuchtet wird. Dann wird ein optisches Projektionsbild des Objektes mit dem Bildempfänger 12 aufgenommen und es werden  
10 bestimmte Stellen, deren Tiefen zu bestimmen sind, ausgesucht, vorliegend beispielsweise die Stellen A und B. Die Auswahl dieser Stellen kann nach Betrachtung des optischen Projektionsbildes unter Verwendung des Eingabemittels 7c erfolgen. Die den Stellen A und B zugeordneten Elemente ( $i_1$ ,  $j_1$ ) auf dem Lichtempfänger 5 werden an der Auswahleinheit 6 zur Signalauswertung ausgewählt. Dies hat zur Folge, dass das von den ausgewählten CMOS-Elementen ( $i_1$ ,  $j_1$ ) ein Signal an die Demodulationseinheit 7a gegeben wird. Beim Element  $i_1$ ,  $j_1$   
15 ist ein einzelner Strahl des Objektlichtbündels 4 mit einem einzelnen Strahl des Referenzlichtbündels 3 überlagert; hierbei bedeutet Strahl „einen kleinen Bereich eines ausgedehnten Bündels“.

In der Demodulationseinheit 7a wird dann die Schwebungsfrequenz  $\Delta\nu$  für das Array-Element  $i_1$ ,  $j_1$  bestimmt und ein entsprechendes Signal an die zentrale Datenverarbeitungseinheit eingespeist. Die zentrale Datenverarbeitungseinheit 7b verändert nun sukzessive stufenweise in teilerfremden Schritten  
25 die Anregungsfrequenz  $f_a$  des akustooptischen Modulators und bestimmt jeweils die sich ergebenden Schwebungsfrequenzen am Array-Element  $i$ ,  $j$ . Aus den dabei insgesamt gewonnenen Signalen wird dann bestimmt, welches Vielfache einer Frequenzver-

schiebung tatsächlich vorliegt und es wird die entsprechende Weglängendifferenz der Referenz- und Objektlichtstrahlen für dieses Array-Element  $i_1, j_1$  bestimmt.

- 5 Aus der Weglängendifferenz und der Position kann dann mit geometrischen Verfahren auf die tatsächliche Koordinate  $(x,y,z)$  des Objektes 10 rückgeschlossen werden. Durch Auswahl geeigneter Punkte A, B, ... kann das Objekt an charakteristischen wichtigen Stellen vermessen werden. Die Messung kann
- 10 sehr schnell erfolgen, so dass leicht weiter über 30, zum Beispiel derzeit bis etwa 2.000 Punkte ohne größeren Schaltungsaufwand in Echtzeit erstellt werden können.

- Bei entsprechend hoher Modulationsfrequenz des akustooptischen Modulators lassen sich problemfrei Genauigkeiten im Mikrometer-Bereich oder Submikrometer-Bereich erzielen, was mit den hohen Zeitauflösungen Messungen an schnell bewegten Wellen, Werkzeugteilen, Lautsprechermembranen usw. ermöglicht. Die gleichzeitige Aufnahme eines optischen Bildes gibt dabei
- 20 für einen Benutzer besonders leicht auswertbare Informationen.

- Es sei erwähnt, daß als Resonatoren für den FSF-Laser sowohl Ringresonatoren als auch lineare Resonatoren verwendbar sind.
- 25 Weiter sei erwähnt, dass anstelle von CMOS-Elementfeldern für die Detektion oder die Übertragung von ausgewählten Strahlen andere, hinreichend schnelle Lichtempfänger und/oder Detektorfelder gleichfalls wie im jeweiligen Stand der Technik verfügbar einsetzbar sind.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Objekterfassung, dadurch gekennzeichnet,  
5 dass zeitlich variable Referenz- und Objektlichtstrahl-  
bündel erzeugt werden, die Bündel an einem Lichtempfänger  
überlagert und strahlenweise detektiert werden und die  
Objekttiefe zu ausgewählten Strahlen im Ansprechen auf  
die zeitliche Variabilität der überlagerten Strahlen be-  
10 stimmt wird.
2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die Lichtbündel mit einer kammartigen  
Frequenzstruktur erzeugt werden.  
15
3. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass der Frequenzkamm durchgestimmt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-  
20 durch gekennzeichnet, dass die zeitliche Variabilität der  
Referenz- und Objektlichtstrahlen durch Anordnen eines  
Lichtverstärkers in einem Resonator mit zeitlich varia-  
bler optischer Länge erfolgt.
- 25 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass sukzessive mehrere Durchstimmfrequen-  
zen verwendet werden..
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-  
30 durch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung einer zeitlichen  
Variabilität ein akustooptischer Modulator verwendet  
wird, insbesondere ein in einen Resonator eingebauter,  
mit Hochfrequenz erregter akustooptischer Modulator.

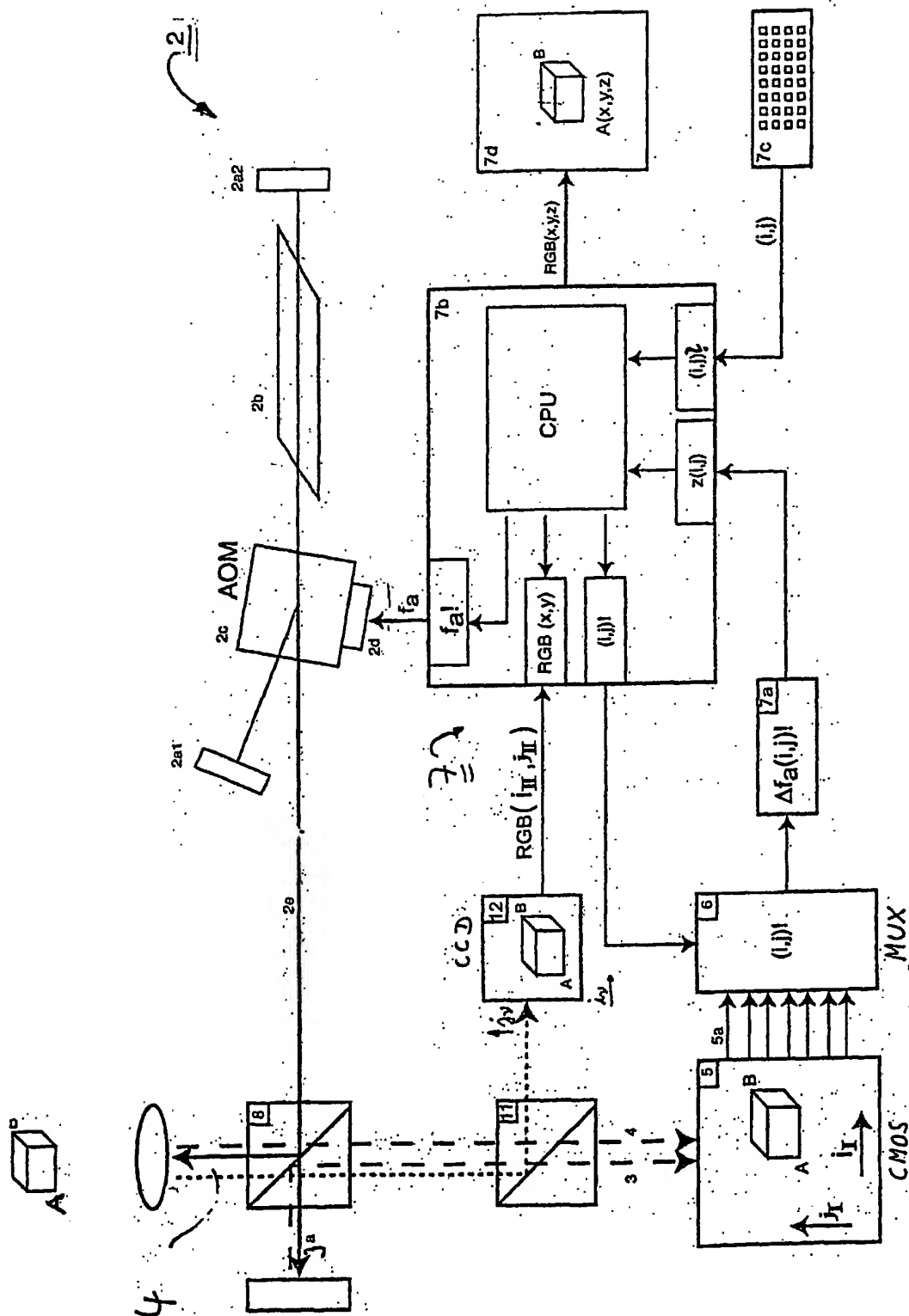
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Detektionselementen in den überlagerten Bündeln vorgesehen werden, und die Objekttiefe nur für eine Auswahl von Detektionselementen bestimmt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswahl der Detektionselemente anhand eines optischen Projektionsbildes des Objektes vorgenommen wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektlichtbündel auch mit einem bildgebenden Detektor erfasst wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein vom Lichtempfänger verschiedener bildgebender Detektor verwendet wird.
11. Vorrichtung mit einem Mittel zur Erzeugung zeitlich variabler Referenz- und Objektlichtbündel, einem Empfänger mit einer Vielzahl von Detektionselementen zum strahlenweisen Erfassen von Objekt- und Referenzlichtbündeln und einer Auswerteeinheit zur Auswertung der sich aus der Überlagerung der zeitlich variablen Objekt- und Referenzstrahlen ergebenden Signatur.
12. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Bündelerzeugungsmittel einen optischen Resonator, eine Lichtverstärkereinheit und einen Modulator umfasst.



13. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Modulator ein akustooptischer Modulator ist.
- 5 14. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der akustooptische Modulator an einen Frequenzgenerator mit einer Frequenz zwischen 0,1 MHz und 500 MHz, insbesondere um 100 MHz angeschlossen ist.
- 10 15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Wahleinheit zur Auswahl auszu-lesender und/oder auszuwertender Lichtempfänger- Detektionselemente vorgesehen ist.
- 15 16. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass ein bildgebendes Sensorfeld vorgesehen ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch  
20 gekennzeichnet, dass das bildgebende Sensorfeld von dem Lichtempfänger verschieden ist.
18. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das bildgebende Sensorfeld und der  
25 Lichtempfänger unterschiedliche Spektralempfindlichkeiten aufweisen.
19. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das bildgebende Sensorfeld für die  
30 Wellenlängen des Bündelerzeugungsmittels nicht empfindlich ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1-19, dadurch gekennzeichnet, dass als Bündelerzeugungsmittel ein FSF- (Frequency-Shifted-Feedback-) Laser verwendet wird.

1 / 3



2 / 3

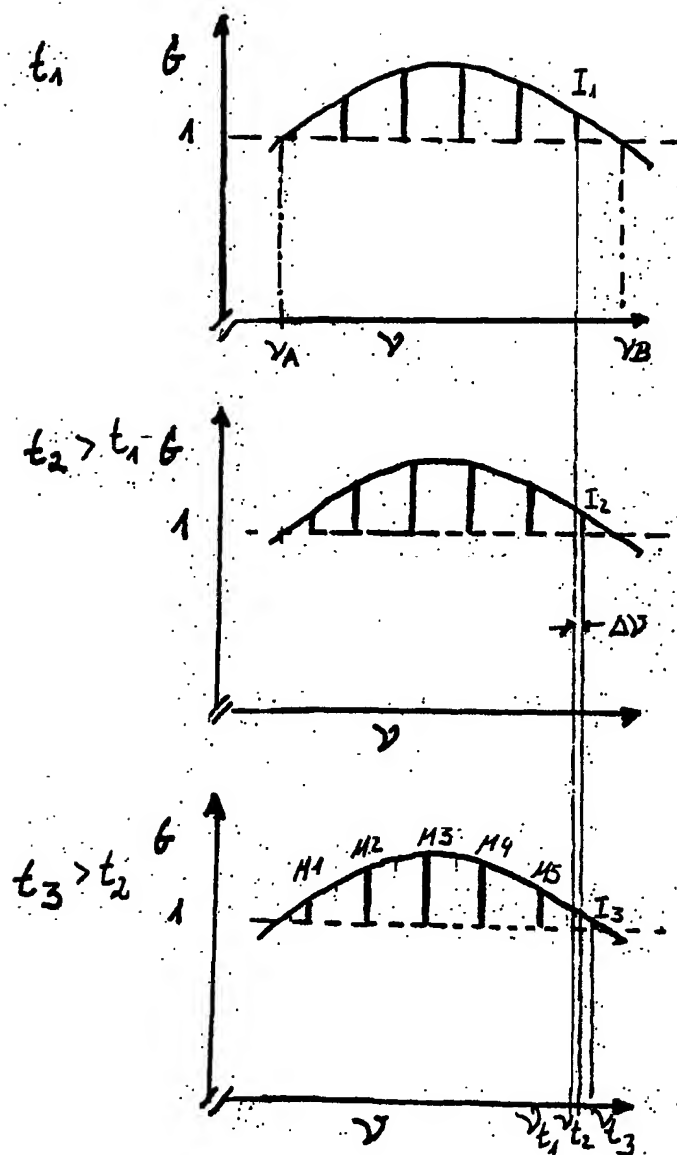


Fig. 2a

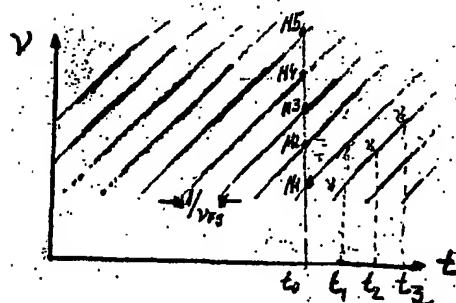


Fig. 2b

3 / 3

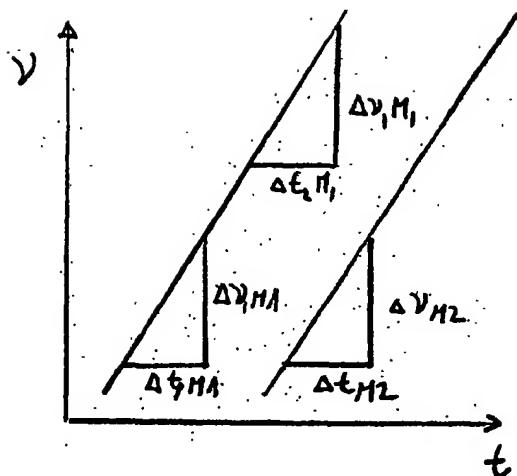


Fig. 2c

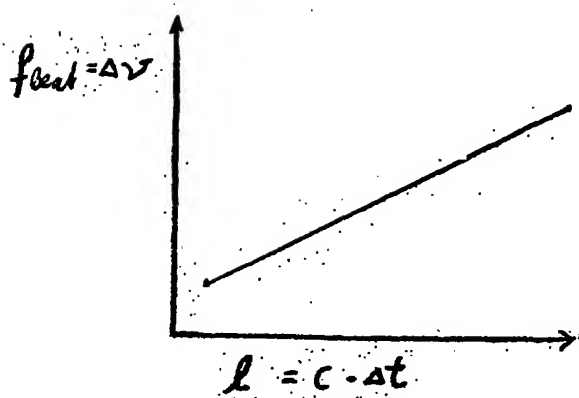


Fig. 2d

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
21. März 2002 (21.03.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/23120 A3

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01S 17/32.  
17/89, 7/491

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/10416

(22) Internationales Anmeldedatum:  
10. September 2001 (10.09.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 45 535.2 13. September 2000 (13.09.2000) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: BONNET, Gerhard [DE/DE]; Cottbuser Weg  
16. 68309 Mannheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BR, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), curasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(74) Anwalt: PIETRUK, Claus Peter; Heinrich-Lilien-  
fein-Weg 5. 76229 Karlsruhe (DE).

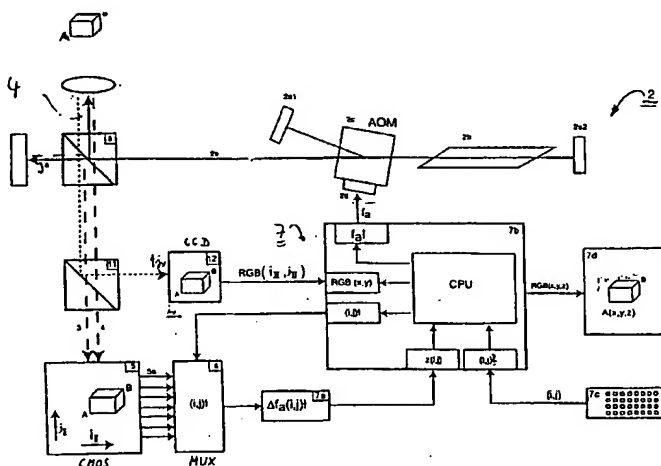
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL DEVICE

(54) Bezeichnung: OPTISCHE VORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for detecting objects. To this end, temporally variable reference light beams and object light beams are generated. The beams are superimposed at a light receiver and detected beam-by-beam, and the penetration of the object by selected beams is determined in response to the temporal variability of the superimposed beams.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Objekterfassung. Hierbei ist vorgesehen, dass zeitlich variable Referenz- und Objektlichtstrahlbündel erzeugt werden, die Bündel an einem Lichtempfänger überlagert und strahlenweise detektiert werden und die Objektiefe zur ausgewählten zu ausgewählten Strahlen im Ansprechen auf die zeitliche Variabilität der überlagerten Strahlen bestimmt wird.

WO 02/23120 A3

WO 02/23120 A3



(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen  
Recherchenberichts: 20. Juni 2002

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.*

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 01/10416

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01S17/32 G01S17/89 G01S7/491

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01S

(Classification symbols) other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic databases consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Abstract of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NAKAMURA K ET AL: "OPTICAL FREQUENCY DOMAIN RANGING BY A FREQUENCY-SHIFTED FEEDBACK LASER" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 36, no. 3, March 2000 (2000-03), pages 305-316, XP000935994 ISSN: 0018-9197 the whole document page 314, right-hand column, paragraph 1	1,11
A	US 5 917 596 A (DEVEREUX ROBERT W J ET AL) 29 June 1999 (1999-06-29) abstract column 1, line 12 -column 2, line 63 column 16, line 38 - line 56 column 25, line 8 - line 15 column 27, line 32 - line 49 -/--	1,11

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 March 2002

Date of mailing of the international search report

19/03/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Roost, J



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In. . ntional Application No

PCT/EP 01/10416

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 835 199 A (SUNI PAUL J M ET AL) 10 November 1998 (1998-11-10) abstract column 1, line 6 - line 45 column 3, line 13 -column 4, line 20 column 7, line 66 -column 12, line 45 column 38, line 32 -column 39, line 12 ---	1,11
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 08, 30 June 1998 (1998-06-30) & JP 10 082858 A (ITO HIROMASA;KODEN ELECTRON CO LTD), 31 March 1998 (1998-03-31) abstract; figures ---	1,11
A	NAKAMURA K ET AL: "SPECTRAL CHARACTERISTICS OF AN ALL SOLID-STATE FREQUENCY-SHIFTED FEEDBACK LASER" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 33, no. 1, 1997, pages 103-110, XP000640595 ISSN: 0018-9197 cited in the application abstract ---	1,11
A	KOICHIRO NAKAMURA ET AL: "A NEW TECHNIQUE OF OPTICAL RANGING BY A FREQUENCY-SHIFTED FEEDBACK LASER" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 10, no. 12, December 1998 (1998-12), pages 1772-1774, XP000802174 ISSN: 1041-1135 cited in the application abstract ---	1,11
A	NAKAMURA K ET AL: "Observation of a highly phase-correlated chirped frequency comb output from a frequency-shifted feedback laser" APPLIED PHYSICS LETTERS, 25 MAY 1998, AIP, USA, vol. 72, no. 21, pages 2631-2633, XP001065421 ISSN: 0003-6951 cited in the application abstract -----	1,11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/10416

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5917596	A	29-06-1999	GB 2309608 A 30-07-1997
			GB 2328738 A 03-03-1999
			CA 2242518 A1 31-07-1997
			CN 1214119 A 14-04-1999
			EP 0876625 A1 11-11-1998
			WO 9727500 A1 31-07-1997
			GB 2323990 A ,B 07-10-1998
			JP 2000504417 T 11-04-2000
			RU 2155356 C2 27-08-2000
US 5835199	A	10-11-1998	NONE
JP 10082858	A	31-03-1998	NONE

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/10416

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G01S17/32 G01S17/89 G01S7/491

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	NAKAMURA K ET AL: "OPTICAL FREQUENCY DOMAIN RANGING BY A FREQUENCY-SHIFTED FEEDBACK LASER" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 36, Nr. 3, März 2000 (2000-03), Seiten 305-316, XP000935994 ISSN: 0018-9197 das ganze Dokument Seite 314, rechte Spalte, Absatz 1 ---	1,11
A	US 5 917 596 A (DEVEREUX ROBERT W J ET AL) 29. Juni 1999 (1999-06-29) Zusammenfassung Spalte 1, Zeile 12 - Spalte 2, Zeile 63 Spalte 16, Zeile 38 - Zeile 56 Spalte 25, Zeile 8 - Zeile 15 Spalte 27, Zeile 32 - Zeile 49 ---	1,11

-/--

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

8. März 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/03/2002

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Roost, J

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 835 199 A (SUNI PAUL J M ET AL) 10. November 1998 (1998-11-10) Zusammenfassung Spalte 1, Zeile 6 - Zeile 45 Spalte 3, Zeile 13 - Spalte 4, Zeile 20 Spalte 7, Zeile 66 - Spalte 12, Zeile 45 Spalte 38, Zeile 32 - Spalte 39, Zeile 12 ---	1,11
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 08, 30. Juni 1998 (1998-06-30) & JP 10 082858 A (ITO HIROMASA;KODEN ELECTRON CO LTD), 31. März 1998 (1998-03-31) Zusammenfassung; Abbildungen ---	1,11
A	NAKAMURA K ET AL: "SPECTRAL CHARACTERISTICS OF AN ALL SOLID-STATE FREQUENCY-SHIFTED FEEDBACK LASER" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 33, Nr. 1, 1997, Seiten 103-110, XP000640595 ISSN: 0018-9197 in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung ---	1,11
A	KOICHIRO NAKAMURA ET AL: "A NEW TECHNIQUE OF OPTICAL RANGING BY A FREQUENCY-SHIFTED FEEDBACK LASER" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 10, Nr. 12, Dezember 1998 (1998-12), Seiten 1772-1774, XP000802174 ISSN: 1041-1135 in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung ---	1,11
A	NAKAMURA K ET AL: "Observation of a highly phase-correlated chirped frequency comb output from a frequency-shifted feedback laser" APPLIED PHYSICS LETTERS, 25 MAY 1998, AIP, USA, Bd. 72, Nr. 21, Seiten 2631-2633, XP001065421 ISSN: 0003-6951 in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung -----	1,11

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/10416

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5917596	A	29-06-1999	GB 2309608 A	30-07-1997
			GB 2328738 A	03-03-1999
			CA 2242518 A1	31-07-1997
			CN 1214119 A	14-04-1999
			EP 0876625 A1	11-11-1998
			WO 9727500 A1	31-07-1997
			GB 2323990 A ,B	07-10-1998
			JP 2000504417 T	11-04-2000
			RU 2155356 C2	27-08-2000
US 5835199	A	10-11-1998	KEINE	
JP 10082858	A	31-03-1998	KEINE	